

## 市民ランナーのマラソン記録推定における VT と vVO2max の比較

山本 正彦<sup>\*1</sup> 木村 瑞生<sup>\*2</sup>

## Comparison between VT and vVO2max in the marathon record estimate of the female recreation runner

Masahiko Yamamoto<sup>\*1</sup> Mizuo Kimura<sup>\*2</sup>

The purpose of this study was to examine the validity of predicting the finish time of marathon using velocity at Ventilatory Threshold (vVT) and marathon record relation (vVT-marathon relation) or velocity at VO2max (vVO2max)-marathon record relation (vVO2max-marathon relation) in the female recreation runner. The subjects were 32 female runners (age: 39.4 $\pm$ 5.9yrs). Personal best records of marathon in them were 2h48m25s~5h47m00s (average time: 4h27m42s $\pm$ 50m24s). VO2max, vVT and vVO2max were determined during incremental-load exercise on a treadmill. Initial running speed of 100/min, was increased by 10m each minute until the subject exhibited total exhaustion. The correlation coefficient of the vVT-marathon relation and the vVO2max-marathon relation were 0.699 ( $p<0.01$ ) and 0.712 ( $p<0.01$ ), respectively.

Consequently, also in the female recreation runner, it was suggested that prediction of the finish time of marathon by the vVT-marathon relation and the vVO2max-marathon relation relation is effective.

## I はじめに

マラソンのように長距離・長時間を競うスポーツにおいては、ゴール記録を推定することがトレーニングの立案、レースにおけるペース配分などを戦略的に計画することにつながる。ゴール記録の推定には、とくにランナー一人ひとりで考えた場合、生理学的な尺度から検討することが重要である

これまで持久性運動、とりわけ走運動の能力を知る尺度に最大酸素摂取量が用いられ(山地 1992)、中距離走からマラソンに至るまで高い相関関係があることが報告されてきた(山地 1990)。しかし Pollock ら(1977)や Sjödin と Svedenhag (1985) が報告したように、測定値が広範囲にわたる最大酸素摂取量と競技成績では相関があるが、同程度の最大酸素摂取量を有する者とその競技成績では相関を認めることができない。

一方で、Wasserman のグループが提唱した無酸素性作業閾値に始まる代謝性閾値(Naimark ら 1964、Wasserman ら 1973、Jacobs ら 1981、Brooks 1985)は、ATP 産生の機序の変化点であることから(Ivy ら 1980)、持久性運動の指標として注目されてきた。とくに長距離走の競技成績と関係が密接であることが報告され(Costill 1970、Sjödin と Jacobs 1981、Tanaka と Matsuura 1984、Powers ら 1983、Tanaka 1990、Yoshida ら 1993)、マラソンのゴール記録推定にも代謝性作業閾値を知ることが有効となる(Farrell

ら 1979、Davis 1985)。

ところで、Daniels (1985) は最大酸素摂取量が異なる 2 名の女性ランナー(それぞれ 73.3ml/min/kg と 60.4 ml/min/kg) の 3,000m 走の競技記録が近い(それぞれ 9 分 06 秒と 9 分 07 秒)ことから、中・長距離走の競技成績を決定する要因に running economy (走の経済性) が重要であることを示した。そこで最大酸素摂取量に running economy を加えた尺度として、最大酸素摂取量が出現した時の走行速度(velocity at VO2max。以下 vVO2max)に注目が集まった。その後多数の報告によって、vVO2max が競技成績を予測する指標になり得ることが示された(Morgan ら 1989、Cunningham 1990、Billat ら 1994、Billat と Koralsztejn 1996、山地 1998、山地ら 2000)。これら報告の多くは、中長距離走の競技成績を検討していること、そして十分に鍛錬している選手を対象にしていることが多く、市民ランナーのようなスポーツ愛好家に当てはまるかは検討されていない。

そこで本研究は、女性市民ランナーにおけるマラソンのゴール記録推定に、これまで有効とされている代謝性作業閾値、中でも換気性作業閾値(Ventilatory Threshold。以下 VT) と vVO2max の有効性について検討することにした。

## II 方法

<sup>\*1</sup> 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター准教授

<sup>\*2</sup> 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター教授

2013 年 9 月 13 日 受理

## II-i 対象

対象は、女性市民ランナー32名とした。32名は、年齢  $39.4 \pm 5.9$  歳、身長  $159.8 \pm 5.1$  cm、体重  $52.5 \pm 4.8$  kg、BMI  $20.6 \pm 1.9$  であった (表1)。また32名のマラソンの自己記録は4時間27分42秒  $\pm$  50分24秒で、そのうち最も速いランナーは2時間48分25秒、最も遅いランナーは5時間47分00秒であった。

表1 被験者の身体特性

年齢	身長	体重	BMI
yr	cm	kg	kg/m <sup>2</sup>
$39.4 \pm 5.9$	$159.8 \pm 5.1$	$52.5 \pm 4.8$	$20.6 \pm 1.9$

N=32

## II-ii VTおよびvVO2maxの決定

測定はトレッドミルを用い、走行中の酸素摂取量を測定した。測定のプロトコールは、傾斜角度0度、速度100m/minから開始、1分毎に10mずつ速度を漸増しexhaustionに至らせた。走行中の呼気分析はVO2000 (S&ME社製)を用い、採気は30秒毎に行った。

VTの決定はV-Slope法により判断し、VT時の走速度をvVTとした。

vVO2maxはBillatら(1994)の方法にしたがい、最大酸素摂取量が出現した時の走速度とした。

## II-iii 統計処理

測定は平均値  $\pm$  標準偏差で表した。

最大酸素摂取量、vVTおよびvVO2maxに対するマラソンの記録は、Pearsonの相関係数を用いて比較した。いずれも有意水準は5%未満とした。

## III 結果

被験者におけるマラソンの記録と最大酸素摂取量およびvVT、vVO2max、vVT/vVO2max、マラソン/vVO2maxを表2に示した。最大酸素摂取量は  $47.0 \pm 5.5$  ml/min  $\cdot$  kgであった。VT時の速度であるvVTは  $173.8 \pm 17.2$  m/min、最大酸素摂取量出現時の走速度であるvVO2maxは  $239.7 \pm 28.7$  m/minであった。vVTとvVO2maxの割合(vVT/vVO2max)は、 $72.8 \pm 0.1\%$ で、マラソンの記録とvVO2maxの割合(マラソン/vVO2max)は  $68.9 \pm 0.1\%$ であった。

最大酸素摂取量とマラソンの記録の関係を図1に示した。両パラメータから得られた回帰式は、 $y = 3.5736x - 2.5282$ で、相関係数rは0.70031、 $p < 0.01$ であった。今回測定した32名のうち、最大酸素摂取量を高値(51.1~58.1

ml/min  $\cdot$  kg)の者10名、中等値(44.0~49.2 ml/min  $\cdot$  kg)11名、低値(37.4~43.8 ml/min  $\cdot$  kg)の者11名の3群に分けマラソンの記録を検討すると、すべての群において相関関係を認めることができなかった。

vVTとマラソンの関係を図2に示した。両パラメータから得られた回帰式は、 $y = 1.1577x - 35.847$ で、相関係数rは0.69897、 $p < 0.01$ であった。

vVO2maxとマラソンの関係を図3に示した。両パラメータから得られた回帰式は、 $y = 0.7332x - 10.431$ で、相関係数

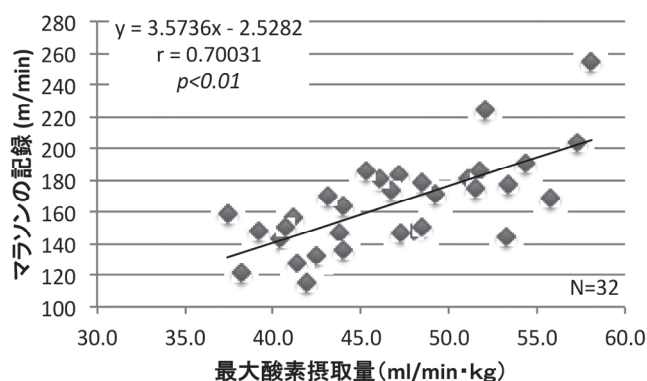


図1 最大酸素摂取量とマラソンの記録の関係

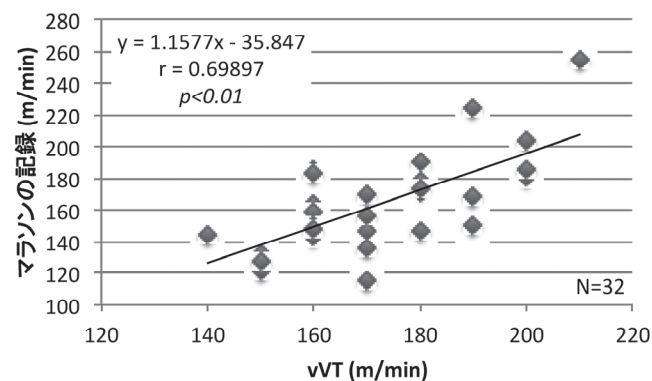


図2 vVTとマラソンの記録の関係

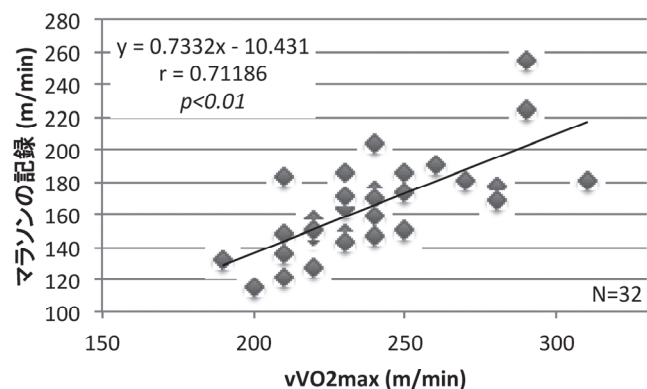


図3 vVO2maxとマラソンの記録の関係

表2 マラソンの記録と最大酸素摂取量およびvVT、vVO2max、vVT/vVO2max、マラソン/vVO2max

マラソン		最大酸素摂取量	vVT	vVO2max	vVT/vVO2max	マラソン/vVO2max
h:mm:ss	m/min	ml/min/kg	m/min	m/min	%	%
$4:21:00 \pm 0:40:33$	$165.3 \pm 28.7$	$47.0 \pm 5.5$	$173.8 \pm 16.6$	$239.7 \pm 28.7$	$72.8 \pm 0.1$	$68.9 \pm 0.1$

N=32

$r$  は 0.71186、 $p < 0.01$  であった。

#### IV 考察

本研究の被験者である女性市民ランナーの最大酸素摂取量は、 $37.4 \sim 58.1 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}$  の範囲にあり、平均は  $47.0 \pm 5.5 \text{ ml/min} \cdot \text{kg}$  であった。最大酸素摂取量とマラソンの記録の関係をみると、有意な相関関係がみられた ( $r = 0.70031$ 、 $p < 0.01$ )。一流競技者を含まない市民ランナーであっても、これまでの報告 (山地 1990) と同様に、最大酸素摂取量が高値であるほどマラソンの記録が良い傾向にあった。しかし本研究の被験者を、最大酸素摂取量をもとに 3 分割にグルーピングし直し、それぞれのグループでマラソンの記録との関係をみると相関が得られなかった。

Sjödín と Svedenhag (1985) は、エリートランナー (ER) と優れたランナー (GR)、そして普通のランナー (SR) の最大酸素摂取量を検討したところ、ER だけでは相関が認められないが、ER+GR、ER+GR+SR ではそれぞれ高い相関が認められたとしている。同程度の最大酸素摂取量と競技成績に相関が認められないことは、エリートランナーを対象にした Pollock ら (1977) も同様である。また Kenney と Hodgson (1985) は、1984 年ロサンゼルスオリンピックに出場した 5000m と 3000m 障害の選手における生理的パラメータを検討したところ、最大酸素摂取量は競技成績との関連がなく、決定因子にならないと結論づけている。本研究の結果と合わせ、最大酸素摂取量からマラソンの記録を推定することが難しいことを示している。

最大酸素摂取量とは異なり、代謝性作業閾値が競技記録の指標になることが数多く報告されてきた (Costill 1970、Sjödín と Jacobs 1970、Farrell ら 1979、Tanaka と Matsuura 1984、Powers ら 1983、Davis 1985、Tanaka 1990、Yoshida ら 1993)。本研究においても、 $vVT$  とマラソンの記録の間に高い相関関係が認められた ( $r = 0.69897$ 、 $p < 0.01$ )。Davis (1985) は、代謝性閾値とマラソンのゴール記録は競技力の高いランナーからレクリエーションランナーに至るまで高い相関があることを報告している。Davis が対象にしているのは、マラソンの記録が 2 時間 20 分のエリートランナーから 4 時間以内で走るレクリエーションランナーであった。本研究のように対象者すべてが市民ランナーであること、そしてもっとも記録の低いランナーが 5 時間 47 分であることとは、対象者の走力で大きく異なる。市民ランナーで走力の低いランナーまでを対象にしても、 $vVT$  がマラソンの記録を推定することに有効であることが指摘できる。

最近では、負荷漸増法による酸素摂取量の測定で、最大酸素摂取量が出現した時の走速度、すなわち  $vV02max$  が競技成績と関係することが報告されている (Morgan ら 1989、Cunningham 1990、Billat ら 1994、Billat と Koralsztein 1996、山地 1998、山地ら 2000)。本研究でも、マラソンの記録と  $vV02max$  の間に高い相関 ( $r = 0.71186$ 、 $p < 0.01$ ) を認めている。すでに述べているように、本研究の対象は

市民ランナーであり、走力のばらつきも大きい (2 時間 46 分～5 時間 47 分)。これまでの報告は十分に鍛錬された競技者が多く、本研究のように走力の低いランナーを対象にしている報告はない。本研究の結果は、走力の低い市民ランナーでも  $vV02max$  がマラソンの記録推定に有効であることを示している。また  $vVT$  が  $vV02max$  に対する割合 ( $vVT/vV02max$ ) は  $72.8 \pm 0.1\%$  であり、マラソンが  $vV02max$  に対する割合 (マラソン/ $vV02max$ ) は  $68.9 \pm 0.1\%$  であった (表 2)。 $vVT/vV02max$  とマラソン/ $vV02max$  の差は 3.9% で、同水準と考えられる。すなわち市民ランナーの場合、 $vV02max$  のおよそ 70% がマラソンの走速度であると指摘できる。

ところで、 $vVT$  は最大下における評価である。 $vVT$  に対し、 $vV02max$  は呼吸循環系における最大運動 ( $100\%V02max$ ) の評価である。マラソンは、代謝性閾値のレベルで走行することが明らかである (Costill 1970、Sjödín と Jacobs 1970、Farrell ら 1979、Tanaka と Matsuura 1984、Powers ら 1983、Davis 1985、Tanaka 1990、Yoshida ら 1993)。そのため、マラソンの指導現場では代謝性閾値レベルでの走トレーニングが求められる。しかし  $vV02max$  とマラソンの記録に相関関係が認められることは、 $vV02max$  が向上することでマラソンの記録も短縮できる可能性を示している。レクリエーションとして走る市民ランナーはトレーニング量が少ないこと、質の高いトレーニングが十分に行えていないことも予想できる。そのため  $vV02max$  を向上させることができるのかどうか、さらには  $vV02max$  が向上してもマラソンの記録の短縮につながるかは疑問である。また十分に鍛錬されたランナーにおいては、1,500m 走や 5,000m 走が得意な「スピード型」のランナーと、マラソンを得意とする「スタミナ型」のランナーが存在する。両者ではマラソン/ $vV02max$  が異なる可能性も考えられる。

こうした疑問については、マラソンの記録やトレーニング量が同程度のランナーを対象に、 $vV02max$  を高めるトレーニングがマラソンに影響するのかどうか、スピード型ランナーとスタミナ型ランナーでマラソン/ $vV02max$  が異なるのかどうか、今後検討すべき課題である。

#### V まとめ

本研究は、32 名の女性市民ランナーにおけるマラソンのゴール記録推定について、VT と  $vV02max$  の有効性を検討した。

被験者は、32 名の女性市民ランナー (年齢  $39.4 \pm 5.9$  歳) で、マラソンのベスト記録は 4 時間 27 分 42 秒  $\pm 50$  分 24 秒 (2 時間 48 分 25 秒～5 時間 47 分 00 秒) であった。被験者の最大酸素摂取量、VT、 $vV02max$  は、100m/分ずつ漸増するトレッドミル走によって行われ、疲労困憊に至らせ決定した。

マラソンのゴール記録に対し、 $vVT$  は  $r = 0.69897$ 、 $p < 0.01$ 、 $vV02max$  は  $r = 0.71186$ 、 $p < 0.01$  で、いずれも有意な相関関係が認められた。また  $vVT/vV02max$  は  $72.8 \pm 0.1\%$ 、マラソン/ $vV02max$  は  $68.9 \pm 0.1\%$  で、両パラメ

ータは同水準であると思われた。

この結果から、市民ランナーのマラソンのゴール記録推定には、 $vVT$  と  $vVO_{2max}$  のいずれの方法も有効であると考えられた。

## 参考文献

- Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP (1994) Reproducibility of running time to exhaustion at  $VO_{2max}$  in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc.* 26: 254-7.
- Billat LV, Koralsztein JP (1996) Significance of the velocity at  $VO_{2max}$  and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 22: 90-108. Review.
- Brooks GA (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 17: 22-34. Review.
- Costill DL (1970) Metabolic responses during distance running. *J Appl Physiol.* 28: 251-5.
- Cunningham LN (1990) Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females. *Res Q Exerc Sport.* 61:369-74.
- Daniels JT (1985) A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 17:332-8. Review.
- Davis JA (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 17:6-21.
- Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL (1979) Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports.* 11: 338-44.
- Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL (1980) Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol.* 48:523-7.
- Jacobs I, Sjödin B, Kaiser P, Karlsson J (1981) Onset of blood lactate accumulation after prolonged exercise. *Acta Physiol Scand.* 112:215-7.
- Kenney WL, Hodgson JL (1985) Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *Br J Sports Med.* 19(4):207-9.
- Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM (1989) Ten kilometer performance and predicted velocity at  $VO_{2max}$  among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc.* 21:78-83.
- Naimark A, Wasserman K, McIlroy MB (1964) Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *J Appl Physiol* 19:644-52.
- Pollock ML (1977) Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Ann N Y Acad Sci.* 301:310-22.
- Powers S.K., Dodd S., Deason R., Byrd R., and Mcknight T (1983) Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res Q Exerc Sport.* 54:179-182.
- Sjödin B, Svedenhag J (1985) Applied physiology of marathon running. *Sports Med.* 2:83-99.
- Sjödin B, Jacobs I (1981) Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 2:23-6.
- Tanaka K, Matsuura Y (1984) Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J Appl Physiol.* 57:640-3.
- Tanaka K (1990) Lactate-related factors as a critical determinant of endurance. *Ann Physiol Anthropol.* 9:191-202.
- Wasserman K, Whipp BJ, Koysl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 35:236-43.
- 山地啓司、池田 岳子、横山 泰行、松井秀治 (1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離、マラソンレースの競技記録を占うことが可能か、ランニング学研究. 1: 7-14 .
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 55-61, 杏林書院, 東京.
- 山地啓司 (1998) 最高有酸素的ランニング速度 ( $vVo_{2max}$ ) の意義と評価. 日本運動生理学雑誌. 5:89-99.
- 山地啓司, 橋本 一隆, 橋爪 和夫, 井口 文雄 (2000) 中・長距離ランナーの最高有酸素的ランニング速度 ( $vVo_{2max}$ ) の意義と実際. 富山大学教育学部研究論集. 3:15-19.
- Yoshida T, Udo M, Iwai K, Yamaguchi T (1993) Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. *J Sports Sci.* 11:57-62.